

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 07-020140

(43)Date of publication of application : 24.01.1995

(51)Int.Cl.

G01P 9/04

G01C 19/56

G01P 15/11

(21)Application number : 05-188854

(71)Applicant : TOSHIBA CORP

(22)Date of filing : 30.06.1993

(72)Inventor : KOBAYASHI TADAHIKO

SAKAI ISAO

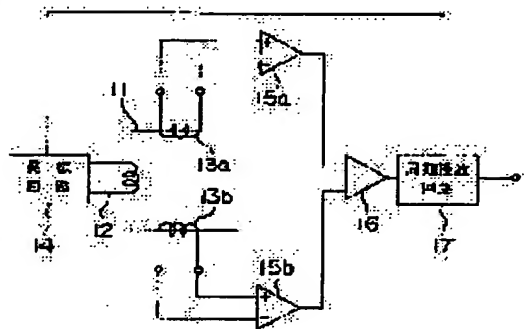
FUNAYAMA TOMOKI

(54) ANGULAR SPEED SENSOR

(57)Abstract:

PURPOSE: To allow precise angular speed detection by applying a magnetic field to an oscillator made of a supermagnetostrictive material to generate oscillation through magnetostriction and detecting the variation in the magnetization upon application of angular speed to the oscillator.

CONSTITUTION: An oscillation circuit 14 applies a voltage to a drive coil 12 wound around a C-shaped oscillator 11 made of a magnetostrictive material to generate an exciting field which is applied to the oscillator 11 thus causing a bending oscillation. The oscillator 14 also delivers a phase reference signal directly to a synchronism detection circuit 17. Since the oscillator 11 is oscillating, the leg part of the oscillator 11 is magnetized by reverse magnetostrictive effect. Signals corresponding to the magnetization are amplified by amplifiers 15a, 15b connected with detection coils 13a, 13b and detected. The difference between both signals is amplified by a differential amplifier 16 and rectified by the synchronism detection circuit 17. Consequently, the variation of impedances at the detection coils 13a, 13b is obtained as an output corresponding to the rotational angular speed.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's]

decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平7-20140

(43) 公開日 平成7年(1995)1月24日

(51) Int.Cl.⁶

識別記号

庁内整理番号

F I

技術表示箇所

G 0 1 P 9/04

G 0 1 C 19/56

G 0 1 P 15/11

9402-2F

審査請求 未請求 請求項の数 3 F D (全 9 頁)

(21) 出願番号 特願平5-188854

(22) 出願日 平成5年(1993)6月30日

(71) 出願人 000003078

株式会社東芝

神奈川県川崎市幸区堀川町72番地

(72) 発明者 小林 忠彦

神奈川県川崎市幸区小向東芝町1番地 株式会社東芝研究開発センター内

(72) 発明者 酒井 勲

神奈川県川崎市幸区小向東芝町1番地 株式会社東芝研究開発センター内

(72) 発明者 船山 知己

神奈川県川崎市幸区小向東芝町1番地 株式会社東芝研究開発センター内

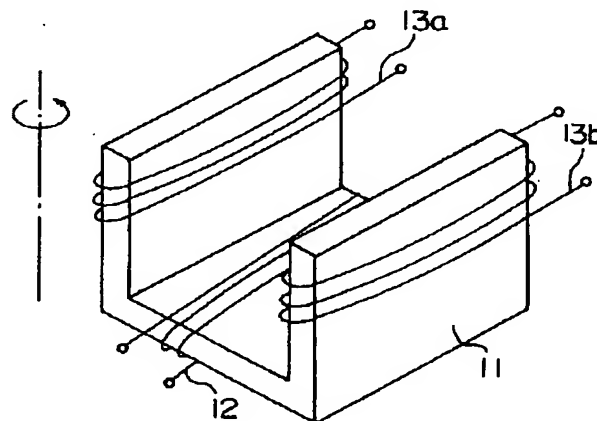
(74) 代理人 弁理士 鈴江 武彦

(54) 【発明の名称】 角速度センサ

(57) 【要約】

【目的】 小型で精密に角速度を検出できる実用的な角速度センサを提供する。

【構成】 希土類金属と遷移金属との金属間化合物を主相とする超磁歪材料からなる振動体11と、振動体11に磁界を印加して磁歪により振動を発生させる駆動コイル12と、振動体11に角速度が加わったときの振動変化に相当する磁化変化を検出する検出コイル13a、13b及び検出回路とを有する。



1

【特許請求の範囲】

【請求項1】 希土類金属と遷移金属との金属間化合物を主相とする超磁歪材料からなる振動体と、前記振動体に磁界を印加して磁歪により振動を発生させる手段と、前記振動体に角速度が加わったときの振動変化に相当する磁化変化を検出する手段とを具備したことを特徴とする角速度センサ。

【請求項2】 前記振動体が、コの字型形状を有することを特徴とする請求項1記載の角速度センサ。

【請求項3】 前記振動体が、十字型形状を有することを特徴とする請求項1記載の角速度センサ。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】 本発明は振動体として超磁歪材料を用いた角速度センサに関する。

【0002】

【従来の技術】 従来から角速度の検出には多くの方式が実用化されている。例えば、圧電型、導電型、歪ゲージ型、半導体ゲージ型などの方式が挙げられる。これらのうちでも、圧セラミックを用いた角速度センサは、構造が簡単であることから、各種機械の振動検出に広く使用されている。

【0003】 図11を参照して従来の圧電型角速度センサについて説明する。この角速度センサは、高弾性金属材料からなる4角柱状の振動体1の4つの側面に、それぞれ短冊状の圧電素子2を接着した構造を有する。この角速度センサでは、互いに対向する2対の圧電素子2のうち、一方の圧電素子2対に駆動信号を印加し、これによって振動体1を屈曲振動させる。いま、図中矢印で示すようにこの振動体1の軸を中心として回転角速度が加わると、振動体1の振動方向に直交する方向にコリオリ力が生じる。この結果、無回転時の振動方向と比較して、回転角速度に見合う新たな振動の作用によって振動体1の振動方向にずれが生じる。この新たな振動成分を、他方の圧電素子2対によって検知する。なお、図11に示したものの以外にも、スピーリ音叉型又はワトソン音叉型などの角速度センサもある。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】 しかし、従来の圧電型角速度センサには、以下のような種々の欠点がある。すなわち、この角速度センサは構造的には振動体に圧電素子を接着したものであるため、小型化が困難である、再現性が悪い、振動体と圧電素子との熱膨張係数の差に起因して温度変動が生じるなどの問題がある。また、圧電素子に接続されたリード線から電圧を印加して動作させる必要があるため、リード線を通じて振動漏洩が生じ、角速度を精密に検出することができない。さらに、圧電素子自体に関しても、動作させるために高電圧を要する、電極の作製に煩雑な工程が必要となる、材質が脆いなどの問題がある。本発明は上記問題点を解決するため

2

になされたものであり、小型で精密に角速度を検出できる実用的な角速度センサを提供することを目的とする。

【0005】

【課題を解決するための手段】 本発明の角速度センサは、希土類金属と遷移金属との金属間化合物を主相とする超磁歪材料からなる振動体と、前記振動体に磁界を印加して磁歪により振動を発生させる手段と、前記振動体に角速度が加わったときの振動変化に相当する磁化変化を検出する手段とを具備したことを特徴とするものである。

【0006】 本発明に用いられる超磁歪材料を構成する希土類金属-遷移金属系の金属間化合物としては、磁歪量が大きい希土類・鉄系ラーベス相金属間化合物が好ましい。希土類・鉄系ラーベス型金属間化合物は、1000ppmを超える飽和磁歪(λ_s)を有することが報告されている(特公昭61-33892号など)。このような超磁歪材料は、一般的に下記(1)式で表される。

【0007】

$$RFe_z$$

(1)

(RはYを含む希土類金属すなわちLa, Ce, Pr, Nd, Pm, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu, Yからなる群より選択される少なくとも1種であり、 $1.5 \leq z \leq 2.5$ を満足する)。本発明に用いられる超磁歪材料では、Feの一部をCoで置換してもよい。Feの一部をCoで置換すると、低温での使用が可能になり、また耐食性も改善できる。ただし、磁歪特性の観点から、CoによるFeの置換量は95at%以下であることが好ましい。

【0008】 また、Feの一部をMnで置換してもよい。Feの一部をMnで置換すると、高磁界から低磁界までの広い磁界領域で大きな磁歪値を示す。MnによるFeの置換量は0.5~50at%であることが好ましい。置換量が0.5at%未満では添加効果がなく、置換量が50at%を超えるとキュリー温度が低下して実用温度領域での磁歪特性が劣化する。

【0009】 さらに、Feの一部を、Ni, Mg, Al, Ga, Zn, V, Zr, Hf, Ti, Nb, Cu, Ag, Sn, Mo, Cr, Ta, Pd, In, Sb, Ir, Pt, Au, Pb, Si, Ge, B, P, Cなどの元素で置換してもよい。これらの元素は、材料強度、耐食性、飽和磁歪、電気機械結合係数などの向上又は弾性率の調整を目的として添加される。これらの元素によるFeの置換量は、Mnによる置換量との合計で0.5~50at%であることが好ましい。置換量が0.5at%未満では添加効果がなく、置換量が50at%を超えると磁歪値などの特性が劣化する。

【0010】 希土類金属とFeとの原子比zは、 $1.5 \leq z \leq 2.5$ に設定される。1.5未満又は2.5を超えると、磁歪特性を担うラーベス相が減少するため十分な磁歪特性が得られない。zは $1.7 \leq z \leq 2.2$ の範

3

囲がより好ましい。(I)式で表される超磁歪材料のうちでも、磁歪が大きく保磁力の小さいものは下記(II)式で表される。

【0011】



(RはYを含む希土類元素のうち少なくとも1種、 $0.005 \leq x \leq 0.5$ 、 $0.005 \leq y \leq 0.5$ 、 $1.5 \leq z \leq 2.5$)。Zrは保磁力を低下させる効果を有する。なお、Sc、Hfを用いてもZrと同様の効果が得られることから、同程度の量まで添加してもよい。xが*10

4

*0.005未満では添加効果が得られず、xが0.5を超えると磁歪量が低下する。Mnの作用及びy、zの限定理由は前記の通りである。

【0012】表1に、(II)式で表される超磁歪材料(N_o.1~10)と(II)式の範囲外の超磁歪材料(N_o.11~16)とについて、保磁力などの特性をまとめて示す。

【0013】

【表1】

No	組 成	磁 歪	保磁力 (Oe)	最大振幅 (μm)
1	Tb _{0.4} Dy _{0.4} Zr _{0.2} (Fe _{0.9} Mn _{0.1}) ₂	15	15	0.65
2	Tb _{0.2} Dy _{0.2} Ho _{0.4} Zr _{0.2} (Fe _{0.9} Mn _{0.1}) ₂	14	12	0.62
3	Sm _{0.95} Zr _{0.05} (Fe _{0.6} Mn _{0.4}) _{1.9}	-9	19	0.42
4	Tb _{0.3} Dy _{0.3} Zr _{0.4} (Fe _{0.8} Mn _{0.2}) _{1.9}	12	10	0.60
5	Tb _{0.4} Dy _{0.4} Zr _{0.2} (Fe _{0.97} Mn _{0.03}) _{1.7}	15	10	0.68
6	Tb _{0.4} Dy _{0.4} Zr _{0.2} (Fe _{0.5} Co _{0.4} Mn _{0.1}) ₂	15	12	0.62
7	Tb _{0.4} Dy _{0.4} Hf _{0.2} (Fe _{0.8} Mn _{0.1} Al _{0.1}) ₂	14	16	0.48
8	Dy _{0.4} Pr _{0.4} Zr _{0.2} (Fe _{0.8} Mn _{0.1} Zn _{0.1}) ₂	10	11	0.52
9	Dy _{0.4} Pr _{0.4} Zr _{0.2} (Fe _{0.8} Mn _{0.1} Cr _{0.1}) ₂	9	18	0.44
10	Dy _{0.4} Pr _{0.4} Zr _{0.2} (Fe _{0.8} Mn _{0.1} B _{0.1}) ₂	10	13	0.50
11	DyFe ₂	1	30	0.03
12	Tb _{0.3} Dy _{0.5} Pr _{0.2} (Fe _{0.8} Mn _{0.2}) _{1.4}	7	60	0.22
13	Tb _{0.2} Dy _{0.2} Zr _{0.6} (Fe _{0.9} Mn _{0.1}) ₂	3	28	0.08
14	Tb _{0.4} Dy _{0.4} Zr _{0.2} (Fe _{0.4} Mn _{0.6}) _{1.9}	5	18	0.18
15	Tb _{0.4} Dy _{0.4} Zr _{0.2} (Fe _{0.3} Mn _{0.1} Al _{0.6}) ₂	3	60	0.02
16	Tb _{0.4} Dy _{0.4} Hf _{0.2} (Fe _{0.9} Mn _{0.1}) _{2.6}	8	120	0.11

磁歪はDyFe₂の λ_s を1として規格化。

【0014】また、(I)式で表される超磁歪材料のうちでも、特に良好な磁歪特性を有するものは下記(III)式で表される。



ここで、 $0.3 \leq a \leq 0.7$ より好ましくは $0.5 \leq a \leq 0.6$ 、 $0.005 \leq y \leq 0.5$ より好ましくはyは0.1近傍、 $1.5 \leq z \leq 2.5$ より好ましくは $1.7 \leq z \leq 2.2$ さらに好ましくは $1.9 \leq z \leq 1.95$ である。

【0015】本発明において、超磁歪材料からなる振動体の形状は、円筒形、又は3角柱・4角柱・多角柱などの角柱形でもよいが、特に振動の発生及び検出が容易な

コの字型又は十字型が好ましい。コの字型の振動体は、2つの脚部を屈曲振動するように節(連結部)を設けて連結したものとみなすことができる。十字型の振動体は、2つの軸を屈曲振動するように節(連結部、交点)を設けて連結したものとみなすことができる。

【0016】本発明において、振動体に磁界を印加して磁歪により振動させる手段としては、例えば振動体の一部の周囲に非接触で設けられた駆動コイル及びこの駆動コイルに接続された交流電源が用いられる。なお、線電流によって発生する周回磁界により振動体を駆動するようにしてもよい。本発明において、振動体に角速度が加わったときの振動変化に相当する磁化変化を検出する手

5

段としては、例えば振動体の一部の周囲に非接触で設けられた検出コイル及びこの検出コイルに接続された検出回路が用いられる。

【0017】駆動コイル及び検出コイルとしては、ソレノイドコイル、平面コイルなどが用いられる。検出回路は、同期検波回路、ブリッジ回路、整流回路などの回路で構成される。コの字型振動体に対しては、例えば節（連結部）の周囲に駆動コイルを、脚部の周囲に検出コイルを配置する。また、2個のコの字型振動体を振動が伝わるように互いに重ねて、一方のコの字型振動体の周囲に駆動コイルを、他方のコの字型振動体の周囲に検出コイルを配置してもよい。十字型振動体に対しては、例えば一方の軸の周囲に駆動コイルを、他方の軸の周囲に検出コイルを配置する。

【0018】以下、本発明の角速度センサの動作を説明する。まず、振動体の一部の周囲に非接触で配置された駆動コイルに所定周波数の交流電流を印加して振動体を励磁する。超磁歪材料からなる振動体は、磁歪効果により屈曲振動するので、これを基本振動とする。いま、振動体に回転角速度が加わると、それに対応してコリオリ力が発生し、振動体の振動は基本振動からずれる。このような振動変化が生じると、振動体の一部の周囲に非接触で配置された検出コイルには逆磁歪効果によりインピーダンス変化が生じる。この変化量を検出回路により電気信号に変換する。ここで得られた信号の振幅及び位相差により角速度の大きさあるいは方向を識別することができる。

【0019】本発明の角速度センサにおいては、コの字型又は十字型の振動体に、希土類磁石、フェライト磁石、金属磁石などにより磁気バイアスを加えてもよい。このような構成では、磁歪と磁界（電流）との関係が直線的でありかつ最大磁歪率を示す領域で振動体を動作させることができるため、センサ特性の直線性及びセンサ感度が向上する。

【0020】本発明の角速度センサは、以下に説明するように、圧電型角速度センサで生じる各種の問題を容易に回避できる。まず、本発明の角速度センサでは、屈曲振動時の共振周波数を低減したり、振動体を小さくすることができるという利点がある。ここで、棒状の振動体が縦振動する場合の共振周波数は、下記の式で与えられる。

$$【0021】 \omega = (i \pi / l) \times (E / \rho)^{1/2}$$

上式において、 ω は振動数、 i は振動の次数、 l は長さ、 E は材料の弾性率、 ρ は密度である。超磁歪材料の弾性率（ $E = 2 \sim 3 \times 10^{10} \text{ N/m}^2$ ）は、圧電材料の弾性率（ $E = 7 \times 10^{10} \text{ N/m}^2$ ）に比べ約1/2～1/3の小さい値である。上式からもわかるように、 E が小さいと振動数を低減でき、実用的な周波数帯域で動作させることができる。逆に、振動数を一定にした場合、棒状の振動体の長さを短くすることができるため、全体

6

を小型化することができる。

【0022】また、低インピーダンスのコイルを用いて振動を発生させるため低電圧駆動が可能である。駆動コイル及び検出コイルが振動体に非接触であるため、リード線を通じた振動漏洩を絶縁することができ、検出精度を向上することができる。振動体に圧電素子を接着するような工程がなくなるため、製作工程を簡略化でき、再現性も高い。圧電素子の場合のように、振動体との熱膨張差に起因する温度変動も解消できる。さらに、超磁歪材料は圧電材料に比べ、機械強度にも優れている。

【0023】なお、本発明に用いられる超磁歪材料は、一般的に磁歪の異方性が大きい。そこで、高性能の素子を得るためには、超磁歪材料の結晶方位を制御し、素子の動作方向と大きな磁歪値が得られる結晶方位とを一致させることが好ましい。本発明の素子に関しては、振動発生方向が超磁歪材料の $\langle 111 \rangle \sim \langle 110 \rangle$ の範囲になるように動作させることが好ましい。これは、超磁歪材料の磁化容易軸方向及び磁歪による変形方向が $\langle 111 \rangle$ であることによる。超磁歪材料の結晶方位を制御するために、浮遊帯域溶解法（Floating Zone法）（特開昭62-109946号公報、米国特許4609402号明細書）や、改良ブリッジマン法（特開昭63-242442号公報、ヨーロッパ公開特許282059）を用いてロッドを作製する方法が知られている。

【0024】しかし、これらの方法によって作製された超磁歪ロッドは、保磁力（Hc）が大きく、素子に組み込んだときの変位特性のヒステリシスが大きいと、微小変位の制御性や周波数特性などに劣っている。この材料系での保磁力増加の原因は、結晶粒界や異相などの介在物でのピン止めによるものである。また、浮遊帯域溶解法で得られる超磁歪合金の最大ロッド径は10mmが限界であり、大型化が困難である。さらに、ブリッジマン法ではルツボ内で合金を溶解するため、合金とルツボとの反応を回避することが困難であり、しかも量産化に適していない。

【0025】以上のような問題を解決するためには、超磁歪材料に最適な熱処理を施すことが考えられる。例えば、超磁歪材料を共晶温度以上かつ融点未満の温度に加熱して所定時間保持した後、500℃/h以下の冷却速度で徐冷する方法を好ましく用いることができる。この熱処理方法についてさらに説明する。

【0026】まず、所望の組成が得られるように各構成元素を調合し、高周波誘導溶解などにより溶解する。得られたインゴット、又はインゴットから切削加工などにより適当な形状に加工した試料を、その合金の共晶温度以上、融点未満の温度まで速やかに加熱して所定時間保持する。このときの保持時間は、0.01～500hが好ましい。その後、500℃/h以下の冷却速度で徐冷する。冷却速度は200℃/h以下がより好ましい。こ

これらの熱処理は、真空中、又は窒素、アルゴンなどの不活性ガス雰囲気中で施すことが好ましい。

【0027】このような熱処理が施された超磁歪材料は保磁力が著しく低下する。これは以下に示すように保磁力増加の原因となる異相などの介在物を除去でき、かつ結晶粒成長により結晶粒界を減少できるためである。まず、共晶温度以上に加熱すると、異相などの介在物を除去できる。加熱温度が共晶温度未満であると、異相などの介在物を除去することができない。しかも、後の徐冷工程においても、これらの介在物が結晶粒成長を阻害する

ため、所望の効果が得られない。次に、500℃/h以下の冷却速度で徐冷すると結晶粒が成長するため、保磁力増加の原因となる結晶粒界が相対的に減少する。なお、冷却速度が500℃/hよりも速い場合には、十分な結晶粒成長が起こらない。

【0028】以下、この熱処理方法の具体例を説明する。まず、アルミナを溶かしてアルゴン雰囲気中で高周波誘導溶解を行い、共晶温度が890℃であるDyFe₂を作製した。この合金を、アルゴンガス中で共晶温度以上の温度である1000℃に加熱して1時間保持した後、100℃/h、200℃/h、500℃/h、又は1000℃/hの冷却速度で冷却した。その後、5mm径、1mm厚さに切り出して、保磁力測定用の試料を作製した。各試料について、振動試料型磁力計を用いて磁化-磁界曲線を測定し、保磁力を求めた。これらの結果を図9に示す。図9から、冷却速度が500℃/h以下の場合には、10~300eの低保磁力を示すことがわかる。比較のために、DyFe₂合金の加熱温度を共晶温度未満の温度である750℃とした以外は、前記と同様な実験を行った。これらの結果を図10に示す。図10から、加熱温度が共晶温度未満である場合には、冷却速度にかかわらず80~1200eと保磁力が高いことがわかる。

【0029】また、別の熱処理として、所望の組成を有する多結晶超磁歪合金インゴットを作製し、融点未満の温度範囲で20℃/cm以上の温度勾配を有する炉中において、合金インゴットと加熱炉との相対的な移動速度を5~400mm/hに設定して相対移動させて冷却する方法を用いてもよい。熱処理条件を規定した理由は以下の通りである。加熱温度が融点以上ではルツボとの反応が生じる。また、温度勾配が20℃/cm未満では合金インゴットと加熱炉との相対的な移動速度を5mm/h未満の低速にしなければならず、生産性に問題が生じる。合金インゴットと加熱炉との相対的な移動速度が5mm/h未満では生産性に問題が生じ、一方400mm/hを超えると結晶方位を制御することができない。この方法では、ルツボを用いずに加熱炉中で合金インゴットの片端又は両端を固定して保持してもよいし、安価なルツボ材料を選択したりルツボを再利用することもできる。

【0030】なお、合金インゴットとして、500℃以上、融点未満の温度範囲で押出加工、引き抜き加工、圧延などの塑性変形加工を施したものをを用いてもよい。また、合金インゴットを金属パイプに入れ、両者を同時に塑性変形加工したものをを用いてもよい。この場合、被覆用の金属パイプとしては、加工温度以上の融点を有する金属又は合金（例えばステンレスなど）を用いる。塑性変形加工の温度については、500℃未満では十分な塑性変形能が得られず、融点以上では合金の形状を保てなくなる。より好ましい温度範囲は、800~1200℃である。このように塑性変形加工を施すと結晶粒が微細化し、引き続き熱処理を施すと結晶粒が粗大化するので、結晶方位の制御が容易になる。また、塑性変形加工を複数回行うことにより、大きな形状のインゴットから細いワイヤー状のロッドを作製することも可能となる。なお、塑性変形加工及び熱処理は、真空中又はアルゴン、ヘリウムなどの不活性ガス雰囲気中で行うことが好ましい。

【0031】以下、この熱処理方法の具体例を説明する。

例1：原子比でTb_{0.4}Dy_{0.6}(Fe_{0.95}Mn_{0.05})_{1.99}となるように、各元素を配合し、アルゴン雰囲気中でアルミナルツボを使用して高周波誘導溶解した後、石英ルツボに鑄込むことにより、外径15mm、長さ200mmの合金ロッドを得た。得られた合金ロッドをアルミナルツボ中に保持し、1130℃から980℃の範囲の温度勾配を50℃/cmとした加熱炉中を70mm/hの速度で下降させた。熱処理後の合金ロッドを7mmの立方体に加工し、室温下で歪みゲージを用いてロッド軸方向とその直交方向の磁歪特性を評価した。磁界は対極型磁石により発生させ、2kOe磁界での磁歪(λ_{2kOe})を測定した。その結果、ロッド軸方向では950ppm、その直交方向では380ppmという低い値であり、磁歪の異方性が大きい合金ロッドを得ることができた。

【0032】例2：原子比でTb_{0.5}Dy_{0.5}(Fe_{0.9}Mn_{0.1})_{1.95}となるように、各元素を配合し、アルゴン雰囲気中でアルミナルツボを使用して高周波誘導溶解した後、カーボンヒーターにより1100℃に加熱した内径30mmのアルミナ鑄型中に鑄造し、さらに冷却板に水冷銅板を使用して炉冷することにより、合金インゴットを得た。得られた超磁歪インゴットを加工温度1080℃、圧力4トン/cm²で熱間押出加工して、直径10mmの超磁歪合金ロッドを得た。得られた合金ロッドの下端を保持して、1150℃から1000℃の範囲の温度勾配を70℃/cmとした加熱炉中を100mm/hの速度で下降させた。熱処理後の合金ロッドを6mmの立方体に加工し、室温下で歪みゲージを用いて押し出し軸方向とその直交方向の磁歪特性を評価した。磁界は対極型磁石により発生させ、2kOe磁界での磁

歪 (λ_{2k00}) を測定した。その結果、押し出し軸方向では 1050 ppm 、その直交方向では 350 ppm という低い値であり、磁歪の異方性が大きい合金ロッドを得ることができた。

【0033】 以上のような熱処理方法では、比較的大型の合金インゴットを用いても、これを溶融しないのでルツボとの反応を避けることができ、しかも結晶方位を制御することができる。なお、超急冷技術により得られる超磁歪材料の箔体を用いてもよい。この場合、非晶質化元素として B, P, C, Si などを含む組成が好ましい。

【0034】 以上のような方法により得られた超磁歪材料は、角速度センサ以外にも、各種磁気-機械変位変換デバイスに応用できる。例えば、磁歪振動子としてスピーカー、ソナー、パーツフィーダー、超音波加工機、モーターの除振・防振機構などへの応用、変位制御アクチュエータとして精密位置決め機構、バルブ制御弁、機械スイッチ、マイクロポンプ、プリンタヘッドなどへ応用、磁歪センサとして圧力センサ、ノックセンサ、音圧センサなどへの応用、さらに表面弾性波応用素子への応用などが考えられる。

【0035】

【実施例】 以下、本発明の実施例を説明する。

実施例1

図1に本実施例における角速度センサの斜視図、図2にこの角速度センサの回路のブロック図を示す。

【0036】 図1において、角速度センサを構成するコの字型振動体11は、 $\text{ Tb}_{0.3} \text{ Dy}_{0.7} \text{ Fe}_{1.9}$ なる組成の超磁歪材料からなっており、ブリッジマン法により製造した $\langle 112 \rangle$ 配向の棒状合金から、ダイヤモンド加工により成形したものである。コの字型振動体11の2つの脚部を連結する連結部の周囲には駆動コイル12が、2つの脚部の周囲には検出コイル13a、13bが、それぞれ非接触で巻回されている。

【0037】 図2に示すように、駆動コイル12は発振回路14に接続され、発振回路14は同期検波回路17に接続されている。検出コイル13a、13bは、それぞれ増幅器15a、15bに接続されている。これらの増幅器15a、15bは差動増幅器16に接続され、さらに差動増幅器16は同期検波回路17に接続されている。

【0038】 この角速度センサの動作を説明する。発振回路14により駆動コイル12へ約10V程度の交流電圧を印加し、駆動コイル12より発生する励磁界を振動体11に与えてこれを屈曲振動させる。また、発振器14から同期検波回路17へ、位相の基準となる参照信号を直接供給する。このように振動体11が振動しているので、振動体11の脚部においては逆磁歪効果によって磁化が生じる。この磁化に応じた信号が検出コイル13a、13bに接続された増幅器15a、15bで増幅し

て検出され、両者の信号の差が差動増幅器16で増幅され、さらにこの信号が同期検波回路17で同期整流される。

【0039】 上記の説明からわかるように、振動体11に回転角速度が加わっていない場合には、両方の検出コイル13a、13bからの信号は相殺されて出力は生じない。一方、屈曲振動している振動体11に、例えば図中矢印で示すような鉛直軸回りの回転角速度が加わると、振動体11の脚部の振動方向に直交する方向にコリオリ力が生じる。この結果、脚部の振動方向が基本振動方向からずれ、このずれに起因して脚部に働く応力が変化し、さらに逆磁歪効果によって生じる磁化が変化する。したがって、検出コイル13a、13bにおけるインピーダンス変化が回転角速度に対応する出力として得られる。

【0040】 なお、図1では駆動コイルとしてソレノイドコイルが用いたが、その代わりに図3に示すように線電流18によって発生する周回磁界を用いても同様の効果が得られる。ただし、この構成では、ソレノイドコイルを用いた場合と比較して、約10倍の電流が必要となる。

【0041】 実施例2

図4に本実施例における角速度センサの分解斜視図を示す。図4の角速度センサにおいては、板状のサマリウム・コバルト磁石22の上に、第1及び第2のコの字型振動体11及び21が順次重ねて載せられている。これらのコの字型振動体11、21は、 $\text{ Tb}_{0.4} \text{ Dy}_{0.6} (\text{ Fe}_{0.9} \text{ Mn}_{0.1})_{1.95}$ なる組成の超磁歪材料からなっており、ブリッジマン法により製造した $\langle 110 \rangle$ 配向の棒状合金から、ダイヤモンド加工により成形したものである。第1のコの字型振動体11の2つの脚部の周囲には駆動コイル12a、12bが非接触で巻回され、第2のコの字型振動体21の2つの脚部の周囲には検出コイル13a、13bが非接触で巻回されている。板状のサマリウム・コバルト磁石22は、振動体に磁気バイアスを加えるために設けられている。磁気バイアスは、振動体が磁歪率最大の領域で動作するように、予め最適値に設定されている。

【0042】 この角速度センサでは、駆動コイル12a、12bで第1のコの字型振動体11を屈曲振動させ、この振動を第2のコの字型振動体21に伝えてこれを屈曲振動させ、回転角速度が加わることによって第2のコの字型振動体21に生じる振動変化を検出コイル13a、13b及び実施例1と同様な検出回路により回転角速度に対応する出力として得る。また、サマリウム・コバルト磁石22により振動体にバイアス磁界を加えているので、磁歪と磁界（電流）との関係が直線的でありかつ最大磁歪率を示す領域で動作させることができ、センサ特性の直線性及びセンサ感度が向上する。

【0043】 実施例3

図5に本実施例における角速度センサの斜視図、図6にこの角速度センサの回路のブロック図を示す。図5において、角速度センサを構成する十字型振動体31は、 $Tb_{0.35} Dy_{0.65} (Fe_{0.9} Mn_{0.05} Al_{0.05})_{1.93}$ なる組成の超磁歪材料からなっており、ブリッジマン法により製造した<112>配向の棒状合金をダイヤモンド加工により0.1mm厚さにスライスした後、十字型に成形したものである。十字型振動体31の一方の軸の周囲には駆動コイル32a、32bが、他方の軸の周囲には検出コイル33a、33bが、それぞれ非接触で巻回されている。

【0044】図6に示すように、駆動コイル32a、32bは発振回路34に接続され、発振回路34は同期検波回路37に接続されている。検出コイル33a、33bは、それぞれ増幅器35a、35bに接続されている。これらの増幅器35a、35bは差動増幅器36に接続され、さらに差動増幅器36は同期検波回路37に接続されている。

【0045】この角速度センサでは、発振回路34により駆動コイル32a、32bへ約10V程度の交流電圧を印加し、駆動コイル32a、32bより発生する励磁界を振動体31に与えてこれを屈曲振動させる。また、発振器34から同期検波回路37へ、位相の基準となる参照信号を直接供給する。いま、屈曲振動している振動体31に回転角速度が加わると、振動体31の振動方向に直交する方向にコリオリ力が生じる。この結果、振動体31の振動方向が基本振動方向からずれ、このずれに起因して振動体31に働く応力が変化し、さらに逆磁歪効果によって生じる磁化が変化する。したがって、検出コイル33a、33bにおけるインピーダンス変化が回転角速度に対応する出力として得られる。

【0046】なお、図5では駆動コイルとしてソレノイドコイルが用いたが、その代わりに図7に示すように線電流38によって発生する周回磁界を用いても同様の効果が得られる。ただし、この構成では、ソレノイドコイルを用いた場合と比較して、約10倍の電流が必要となる。

【0047】実施例4

図8に本実施例における角速度センサの分解斜視図を示す。図8の角速度センサにおいては、2つの板状のサマリウム・コバルト磁石43、43の上に、十字型振動体41とこれを保持する枠体42とを一体化したもの、及び十字型振動体41に対応して平面型駆動コイル52a、52bと平面型検出コイル53a、53bとが形成されたポリイミドフィルム44が順次重ねて載せられている。十字型振動体41及び枠体42は、 $Tb_{0.5} Dy_{0.5} (Fe_{0.9} Mn_{0.1})_{1.95}$ なる組成の超磁歪材料からなっており、ブリッジマン法により製造した<110>配向の棒状合金をダイヤモンド加工により0.1mm厚さにスライスした後、レーザー加工により成形したも

のである。平面型駆動コイル52a、52b及び平面型検出コイル53a、53bの形状は、スパイラル状、矩形状、ミアンダー状のいずれでもよく、半導体プロセスにより作製される。

【0048】この角速度センサでは、平面型駆動コイル52a、52bにより十字型振動体42のX方向の軸を振動させ、平面型検出コイル53a、53b及び実施例3と同様な検出回路によりY方向の軸の振動変化を回転角速度に対応する出力として得る。また、サマリウム・コバルト磁石43、43により振動体41にバイアス磁界を加えているので、磁歪と磁界（電流）との関係が直線的でありかつ最大磁歪率を示す領域で動作させることができ、センサ特性の直線性及びセンサ感度が向上する。さらに、この角速度センサでは、十字型振動体41の交点41aの質量を最適化することにより、振動を増大させたり、共振周波数を可変にできる。

【0049】

【発明の効果】以上詳述したように本発明によれば、小型で精密に角速度を検出できる実用的な角速度センサを提供できる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の実施例1における角速度センサの斜視図。

【図2】本発明の実施例1における角速度センサの回路を示すブロック図。

【図3】本発明の実施例1の角速度センサの変形例の斜視図。

【図4】本発明の実施例2における角速度センサの分解斜視図。

【図5】本発明の実施例3における角速度センサの斜視図。

【図6】本発明の実施例3における角速度センサの回路を示すブロック図。

【図7】本発明の実施例3の角速度センサの変形例の斜視図。

【図8】本発明の実施例4における角速度センサの分解斜視図。

【図9】本発明に係る熱処理方法で熱処理された超磁歪合金の保磁力を示す特性図。

【図10】他の熱処理方法で熱処理された超磁歪合金の保磁力を示す特性図。

【図11】従来の圧電型角速度センサの斜視図。

【符号の説明】

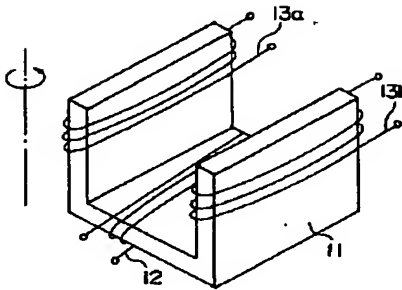
11、21…十字型振動体、12、12a、12b、32a、32b…駆動コイル、13a、13b、33a、33b…検出コイル、14、34…発振回路、15a、15b、35a、35b…増幅器、16、36…差動増幅器、17、37…同期検波回路、22、43…サマリウム・コバルト磁石、31、41…十字型振動体、42…枠体、44…ポリイミドフィルム、52a、52

13

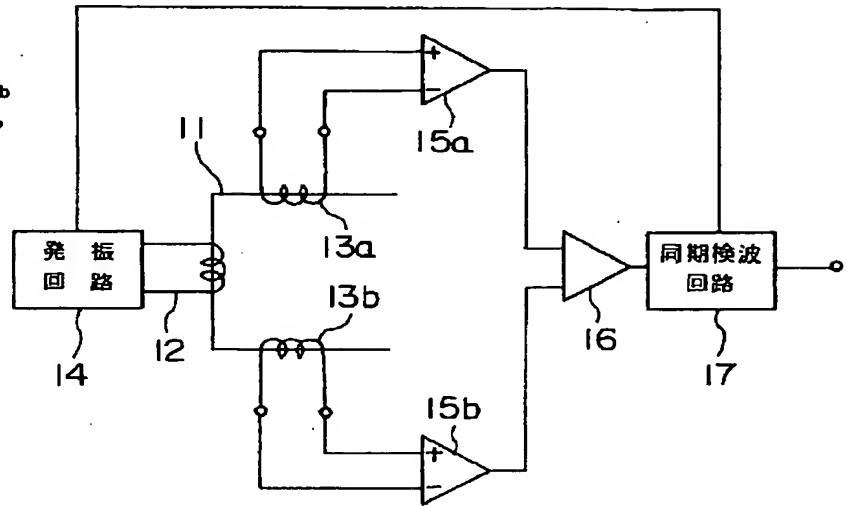
14

b…平面型駆動コイル、53a, 53b…平面型検出コイル。

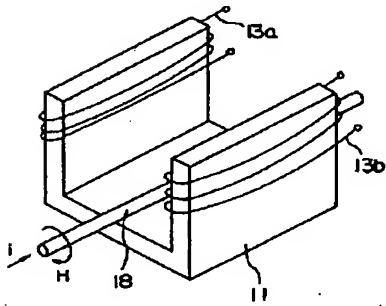
【図1】



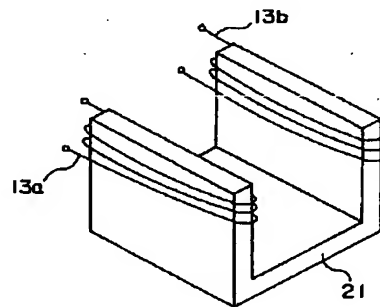
【図2】



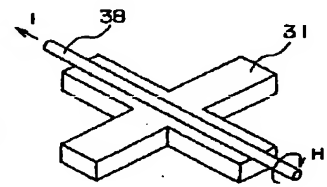
【図3】



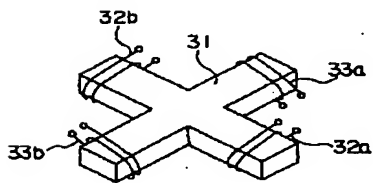
【図4】



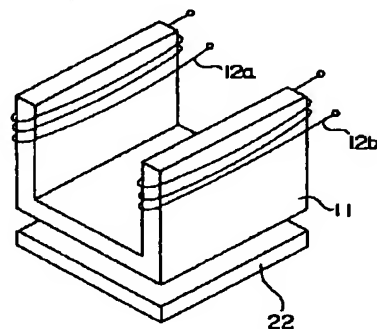
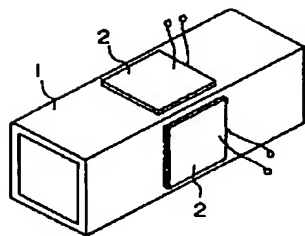
【図7】



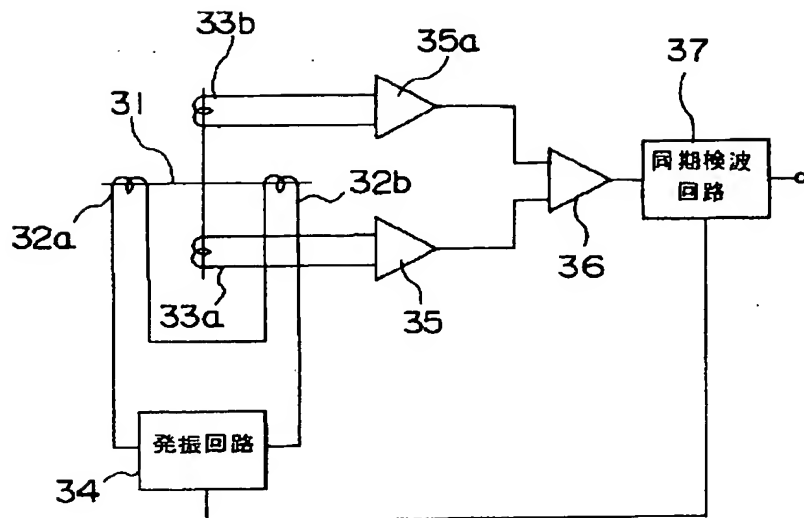
【図5】



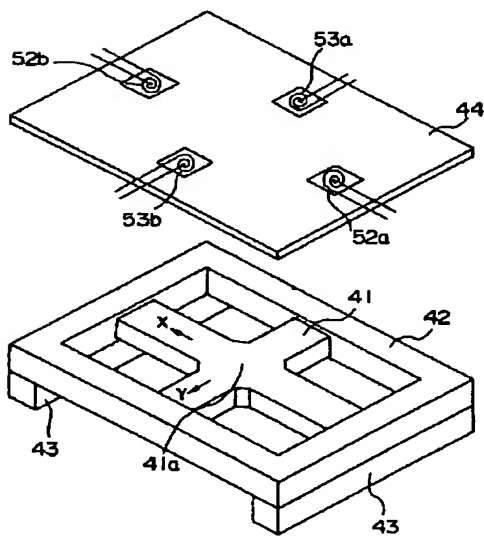
【図11】



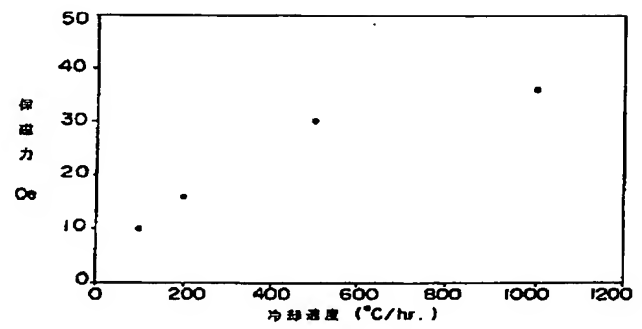
【図6】



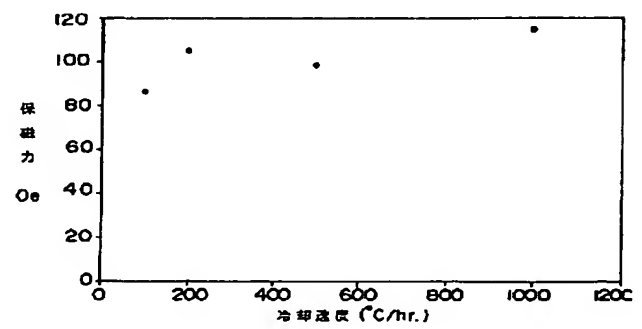
【図8】



【図9】



【図10】



* NOTICES *

JPO and NCIPi are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. **** shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

CLAIMS

[Claim(s)]

[Claim 1] The angular-velocity sensor characterized by providing the oscillating object which consists of a super-magnetostriction ingredient which makes the main phase the intermetallic compound of a rare earth metal and transition metals, a means to impress a field to said oscillating object and to generate vibration by magnetostriction, and a means to detect the magnetization change equivalent to the oscillating change when angular velocity joining said oscillating object.

[Claim 2] The angular-velocity sensor according to claim 1 by which said oscillating object is characterized by having the character type configuration of KO.

[Claim 3] The angular-velocity sensor according to claim 1 by which said oscillating object is characterized by having a cross configuration.

[Translation done.]

* NOTICES *

JPO and NCIPi are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. **** shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

DETAILED DESCRIPTION

[Detailed Description of the Invention]

[0001]

[Industrial Application] This invention relates to the angular-velocity sensor which used the super-magnetostriction ingredient as an oscillating object.

[0002]

[Description of the Prior Art] Many methods are put in practical use by detection of angular velocity from the former. For example, methods, such as a piezo-electric mold, a conductivity type, a strain gage mold, and a semi-conductor gage mold, are held. Since the angular-velocity sensor which used the piezo-electric ceramic also among these is easy structure, it is widely used for oscillating detection of various machines.

[0003] With reference to drawing 11, the conventional piezo-electric mold angular-velocity sensor is explained. This angular-velocity sensor has the structure which pasted up the strip-of-paper-like piezoelectric device 2 on four side faces of the oscillating object 1 of 4 prismatic forms which consists of a high elasticity metallic material, respectively. By this angular-velocity sensor, a driving signal is impressed to two pairs of one piezoelectric devices among two pairs of piezoelectric devices 2 which counter mutually, and crookedness vibration of the oscillating object 1 is carried out by this. If the angular rate of rotation is added centering on the shaft of this oscillating object 1 as the drawing Nakaya mark shows now, Coriolis force will arise in the direction which intersects perpendicularly in the oscillating direction of the oscillating object 1. Consequently, as compared with the oscillating direction at the time of nonrotation, a gap arises in the oscillating direction of the oscillating object 1 according to an operation of the new vibration corresponding to the angular rate of rotation. This new oscillating component is detected by two pairs of piezoelectric devices of another side. In addition, there are also angular-velocity sensors, such as a SUPEIRI tuning fork mold or the Watson tuning fork mold, besides what was shown in drawing 11 R> 1.

[0004]

[Problem(s) to be Solved by the Invention] However, the conventional piezo-electric mold angular-velocity sensor has the following various faults. That is, structurally, in order that this angular-velocity sensor may paste up a piezoelectric device on an oscillating object, it originates in the difference of the coefficient of thermal expansion of an oscillating object and a piezoelectric device with bad repeatability with a difficult miniaturization, and has problems, like temperature fluctuation arises. Moreover, since it is necessary to impress an electrical potential difference and to operate it from the lead wire connected to the piezoelectric device, oscillating leakage arises through lead wire and angular velocity cannot be detected to a precision. Furthermore, also about the piezoelectric device itself, in order to make it operate, there are problems of requiring the high voltage, like that a complicated process is needed for production of an electrode and the quality of the material is weak. It is made in order that this invention may solve the above-mentioned trouble, and it is small and aims at offering the practical angular-velocity sensor which can detect angular velocity to a precision.

[0005]

[Means for Solving the Problem] The angular-velocity sensor of this invention is characterized by providing the oscillating object which consists of a super-magnetostriction ingredient which makes the main phase the intermetallic compound of a rare earth metal and transition metals, a means to

impress a field to said oscillating object and to generate vibration by magnetostriction, and a means to detect the magnetization change equivalent to the oscillating change when angular velocity joining said oscillating object.

[0006] As an intermetallic compound of the rare earth metal-transition-metals system which constitutes the super-magnetostriction ingredient used for this invention, rare earth and an iron system Laves phase intermetallic compound with the large amount of magnetostriction are desirable. It is reported that rare earth and an iron system Ra Beth mold intermetallic compound have the saturation magnetostriction (λ_{sd}) exceeding 1000 ppm (JP,61-33892,B etc.). Generally such a super-magnetostriction ingredient is expressed with the following (I) type.

[0007]

RFe_z (I)

(R is at least one sort chosen from the group which consists of a rare earth metal containing Y, i.e., La, Ce, Pr, Nd, Pm, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu, and Y, and satisfies $1.5 \leq z \leq 2.5$). The super-magnetostriction ingredient used for this invention may permute a part of Fe by Co. If a part of Fe is permuted by Co, use at low temperature is attained and corrosion resistance can also be improved. However, as for the amount of permutations of Fe by Co from a viewpoint of a magnetostriction property, it is desirable that it is less than [95at%].

[0008] Moreover, a part of Fe may be permuted from Mn. When a part of Fe is permuted from Mn, the large field from a high field to a low field shows a big magnetostriction value. As for the amount of permutations of Fe by Mn, it is desirable that it is 0.5 - 50at%. If the addition effectiveness does not have the amount of permutations less than [0.5at%] and the amount of permutations exceeds 50at(s)%, Curie temperature will fall and the magnetostriction property in an operating temperature field will deteriorate.

[0009] Furthermore, elements, such as nickel, Mg, aluminum, Ga, Zn, V, Zr, Hf, Ti, Nb, Cu, Ag, Sn, Mo, Cr, Ta, Pd, In, Sb, Ir, Pt, Au, Pb, Si, germanium, B, P, and C, may permute a part of Fe. These elements are added for the purpose of the improvement in material strength, corrosion resistance, saturation magnetostriction, an electromechanical coupling coefficient, etc., or adjustment of an elastic modulus. As for the amount of permutations of Fe by these elements, it is desirable that it is 0.5 - 50at% in the sum total with the amount of permutations by Mn. The addition effectiveness does not have the amount of permutations less than [0.5at%], and if the amount of permutations exceeds 50at(s)%, properties, such as a magnetostriction value, will deteriorate.

[0010] The atomic ratio z of a rare earth metal and Fe is set as $1.5 \leq z \leq 2.5$. If less than 1.5 and 2.5 are exceeded, in order that the Laves phase which bears a magnetostriction property may decrease, sufficient magnetostriction property will not be acquired. The range of z of $1.7 \leq z \leq 2.2$ is more desirable. (I) The small thing of coercive force which has large magnetostriction is expressed with the following (II) type also among the super-magnetostriction ingredients expressed with a formula.

[0011]

$R_{1-x}Zr_xFe_z(Mn)_y$ (II) (R is at least one sort, $0.005 \leq x \leq 0.5$, $0.005 \leq y \leq 0.5$, and $1.5 \leq z \leq 2.5$ among the rare earth elements containing Y). Zr has the effectiveness of reducing coercive force. In addition, even if it uses Sc and Hf, you may add from the same effectiveness as Zr being acquired to a comparable amount. The addition effectiveness is not acquired for x less than by 0.005, but if x exceeds 0.5, the amount of magnetostriction will fall. An operation of Mn and the reason for limitation of y and z are as aforementioned.

[0012] Properties, such as coercive force, are collectively shown in Table 1 about the super-magnetostriction ingredient (No.1-10) and (II)-type super-magnetostriction ingredient (No.11-16) out of range which are expressed with the (II) type.

[0013]

[Table 1]

No	組 成	磁 歪	保磁力 (0e)	最大振幅 (μ m)
1	Tb _{0.4} Dy _{0.4} Zr _{0.2} (Fe _{0.9} Mn _{0.1}) ₂	15	15	0.65
2	Tb _{0.2} Dy _{0.2} Ho _{0.4} Zr _{0.2} (Fe _{0.9} Mn _{0.1}) ₂	14	12	0.62
3	Sm _{0.95} Zr _{0.05} (Fe _{0.6} Mn _{0.4}) _{1.9}	-9	19	0.42
4	Tb _{0.3} Dy _{0.3} Zr _{0.4} (Fe _{0.8} Mn _{0.2}) _{1.9}	12	10	0.60
5	Tb _{0.4} Dy _{0.4} Zr _{0.2} (Fe _{0.97} Mn _{0.03}) _{1.7}	15	10	0.68
6	Tb _{0.4} Dy _{0.4} Zr _{0.2} (Fe _{0.5} Co _{0.4} Mn _{0.1}) ₂	15	12	0.62
7	Tb _{0.4} Dy _{0.4} Hf _{0.2} (Fe _{0.8} Mn _{0.1} Al _{0.1}) ₂	14	16	0.48
8	Dy _{0.4} Pr _{0.4} Zr _{0.2} (Fe _{0.8} Mn _{0.1} Zn _{0.1}) ₂	10	11	0.52
9	Dy _{0.4} Pr _{0.4} Zr _{0.2} (Fe _{0.8} Mn _{0.1} Cr _{0.1}) ₂	9	18	0.44
10	Dy _{0.4} Pr _{0.4} Zr _{0.2} (Fe _{0.8} Mn _{0.1} B _{0.1}) ₂	10	13	0.50
11	DyFe ₂	1	30	0.03
12	Tb _{0.3} Dy _{0.5} Pr _{0.2} (Fe _{0.8} Mn _{0.2}) _{1.4}	7	60	0.22
13	Tb _{0.2} Dy _{0.2} Zr _{0.6} (Fe _{0.9} Mn _{0.1}) ₂	3	28	0.08
14	Tb _{0.4} Dy _{0.4} Zr _{0.2} (Fe _{0.4} Mn _{0.6}) _{1.9}	5	18	0.18
15	Tb _{0.4} Dy _{0.4} Zr _{0.2} (Fe _{0.3} Mn _{0.1} Al _{0.6}) ₂	3	60	0.02
16	Tb _{0.4} Dy _{0.4} Hf _{0.2} (Fe _{0.9} Mn _{0.1}) _{2.6}	8	120	0.11

磁歪はDyFe₂の λ_s を1として規格化。

[0014] Moreover, especially the thing that has a good magnetostriction property also among the super-magnetostriction ingredients expressed with the (I) type is the following (III). It is expressed with a formula.

Tb_{1-a}Dy_aZr_z(Fe_{1-y}Mn_y) (III) Here, y is 1.9 \leq z \leq 1.95 to 1.7 \leq z \leq 2.2 pan preferably [it is more desirable than about 0.1 and 1.5 \leq z \leq 2.5, and] more preferably [it is more desirable than 0.3 \leq a \leq 0.7, and] than 0.5 \leq a \leq 0.6 and 0.005 \leq y \leq 0.5.

[0015] In this invention, although prism forms, such as a cylindrical shape or 3 prisms, 4 prisms, and a multiple column, are sufficient as the configuration of the oscillating object which consists of a super-magnetostriction ingredient, its character type or cross-joint mold of KO with generating and detection of vibration easy [especially] is desirable. It can be considered that the character type oscillating object of KO is what established and connected the knot (connection section) so that crookedness vibration of the two legs might be carried out. It can be considered that the oscillating object of a cross-joint mold is what established and connected the knot (the connection section, intersection) so that crookedness vibration of the two shafts might be carried out.

[0016] In this invention, the AC power supply connected to the drive coil prepared, for example in some perimeters of an oscillating object by non-contact and this drive coil as a means which impresses a field to an oscillating object and is vibrated by magnetostriction is used. In addition, you may make it drive an oscillating object by the circumference field generated according to the line current. In this invention, the detector connected to the sensing coil prepared, for example in some perimeters of an oscillating object by non-contact and this sensing coil as a means to detect the magnetization change equivalent to the oscillating change when angular velocity joining an oscillating object is used.

[0017] A solenoid coil, a flat-surface coil, etc. are used as a drive coil and a sensing coil. A detector consists of circuits, such as a synchronous-detection circuit, a bridge circuit, and a rectifier circuit.

To the character type oscillating object of KO, a drive coil is arranged around a knot (connection section), and a sensing coil is arranged around the leg, for example. Moreover, in piles, a drive coil may be arranged around the character type oscillating object of one KO, and the sensing coil of each other may be arranged around the character type oscillating object of KO of another side so that vibration may be transmitted in the character type oscillating object of two KO. To a cross oscillating object, a drive coil is arranged around the shaft which is one side, for example, and a sensing coil is arranged around the shaft of another side.

[0018] Hereafter, actuation of the angular-velocity sensor of this invention is explained. First, the alternating current of predetermined frequency is impressed to the drive coil arranged by non-contact around [some] an oscillating object, and an oscillating object is excited. Since the oscillating object which consists of a super-magnetostriction ingredient carries out crookedness vibration according to a magnetostrictive effect, it makes this fundamental vibration. If the angular rate of rotation joins an oscillating object now, Coriolis force will occur corresponding to it and vibration of an oscillating object will shift from fundamental vibration. If such oscillating change arises, in the sensing coil arranged by non-contact around [some] an oscillating object, impedance change will arise according to a reverse magnetostrictive effect. This variation is changed into an electrical signal by the detector. The magnitude or the direction of angular velocity is discriminable with the amplitude and phase contrast of a signal which were acquired here.

[0019] In the angular-velocity sensor of this invention, magnetic bias may be added to the oscillating object of the character type of KO, or a cross-joint mold with a rare earth magnet, a ferrite magnet, a metal magnet, etc. With such a configuration, the relation between magnetostriction and a field (current) is linear, and since an oscillating object can be operated in the field which shows the rate of the maximum magnetostriction, the linearity and sensor sensibility of a sensor property improve.

[0020] The angular-velocity sensor of this invention can avoid easily various kinds of problems produced by the piezo-electric mold angular-velocity sensor so that it may explain below. First, by the angular-velocity sensor of this invention, there is an advantage that the resonance frequency at the time of crookedness vibration can be reduced, or an oscillating object can be made small. Here, resonance frequency in case an oscillating rod-like object carries out longitudinal oscillation is given by the following formula.

[0021] For vibration frequency and i , in $\omega = (i \pi / l) \times (E / \rho)^{1/2}$ top types, the degree of vibration and l are [ω / the elastic modulus of an ingredient and ρ of die length and E] consistencies. The elastic modulus ($E = 2 - 3 \times 10^{10}$ N/m²) of a super-magnetostriction ingredient is the small value of about $1/2 - 1/3$ compared with the elastic modulus ($E = 7 \times 10^{10}$ N/m²) of piezoelectric material. If E is small as shown also in an upper type, vibration frequency can be reduced and it can be made to operate in a practical frequency band. On the contrary, since the die length of an oscillating rod-like object can be shortened when vibration frequency is fixed, the whole can be miniaturized.

[0022] Moreover, since vibration is generated using the coil of low impedance, a low-battery drive is possible. Since a drive coil and a sensing coil are non-contact at an oscillating object, the oscillating leakage which led lead wire can be insulated and detection precision can be improved. Since a process which pastes up a piezoelectric device on an oscillating object is lost, a manufacture process can be simplified and repeatability is also high. The temperature fluctuation resulting from a differential thermal expansion with an oscillating object is also cancelable like [in the case of a piezoelectric device]. Furthermore, the super-magnetostriction ingredient is excellent also in mechanical strength compared with piezoelectric material.

[0023] In addition, generally the super-magnetostriction ingredient used for this invention has the large anisotropy of magnetostriction. So, in order to obtain the component of high performance, it is desirable to control the crystal orientation of a super-magnetostriction ingredient and to make in agreement the direction of a component of operation and the crystal orientation from which a big magnetostriction value is acquired. It is desirable to make it operate about the component of this invention, so that the oscillating generating direction may become the range of $\langle 111 \rangle - \langle 110 \rangle$ of a super-magnetostriction ingredient. This is because the direction of an easy axis of a super-magnetostriction ingredient and the deformation direction by magnetostriction are $\langle 111 \rangle$. In order to control the crystal orientation of a super-magnetostriction ingredient, the suspension band solution

process (Floating Zone law) (JP,62-109946,A, U.S. Pat. No. 4609402 number specification) and the approach of using an amelioration Bridgman method (JP,63-242442,A, Europe public presentation JP,282059,B), and producing a rod are learned.

[0024] However, since the super-magnetostriction rod produced by these approaches has large coercive force (H_c) and its hysteresis of the displacement property when including in a component is large, it is inferior to a controllability, frequency characteristics, etc. of minute displacement. The cause of the increment in coercive force by this ingredient system is based on pinning in inclusion, such as the grain boundary and an unusual appearance. Moreover, 10mm is a limitation and the diameter of the maximum rod of the super-magnetostriction alloy obtained with a suspension band solution process is difficult to enlarge. Furthermore, in a Bridgman method, in order to dissolve an alloy within a crucible, it is difficult to avoid the reaction of an alloy and a crucible, and, moreover, it is not suitable for fertilization.

[0025] In order to solve the above problems, it is possible to perform the optimal heat treatment for a super-magnetostriction ingredient. For example, after heating a super-magnetostriction ingredient to the temperature of more than eutectic temperature and under the melting point and carrying out predetermined time maintenance, the approach of annealing with the cooling rate of 500 degrees C/h or less can be used preferably. This heat treatment approach is explained further.

[0026] First, each configuration element is prepared so that a desired presentation may be acquired, and it dissolves by the RF induction dissolution etc. From the obtained ingot or an ingot, the sample which processed the suitable configuration by cutting etc. is promptly heated to the temperature of under the melting point more than the eutectic temperature of the alloy, and predetermined time maintenance is carried out. The holding time at this time has 0.01-desirable 500h. Then, it cools slowly with the cooling rate of 500 degrees C/h or less. h of a cooling rate is more desirable in 200 degrees C /or less. As for these heat treatments, it is desirable to give in a vacuum or inert gas ambient atmospheres, such as nitrogen and an argon.

[0027] As for the super-magnetostriction ingredient with which such heat treatment was performed, coercive force declines remarkably. This is because inclusion, such as an unusual appearance leading to the increment in coercive force, can be removed as shown below, and the grain boundary can be decreased with grain growth. First, if it heats more than eutectic temperature, inclusion, such as an unusual appearance, is removable. Inclusion, such as an unusual appearance, is unremovable in whenever [stoving temperature] being under eutectic temperature. And in a next annealing process, in order that such inclusion may check grain growth, desired effectiveness is not acquired. Next, if it cools slowly with the cooling rate of 500 degrees C/h or less, in order that crystal grain may grow, the grain boundaries leading to the increment in coercive force decrease in number relatively. In addition, when a cooling rate is quicker than h 500 degrees C /, sufficient grain growth does not happen.

[0028] Hereafter, the example of this heat treatment approach is explained. First, the RF induction dissolution was performed in the argon ambient atmosphere using the alumina crucible, and DyFe₂ whose eutectic temperature is 890 degrees C was produced. After heating this alloy at 1000 degrees C which is the temperature more than eutectic temperature and holding it in argon gas for 1 hour, it cooled with the cooling rate of 100 degrees C [h] /, 200 degrees C [h] /, 500 degrees C [h] /, or 1000 degrees C/h. Then, it started in the diameter of 5mm, and 1mm thickness, and the sample for coercive force measurement was produced. About each sample, the magnetization-field curve was measured using the oscillating sample mold magnetometer, and coercive force was searched for. These results are shown in drawing 9. Drawing 9 shows that the low coercive force of 10-30Oe is shown, when a cooling rate is 500 degrees C/h or less. Because of a comparison, it is DyFe₂. The same experiment as the above was conducted except having made whenever [stoving temperature / of an alloy] into 750 degrees C which is the temperature of under eutectic temperature. These results are shown in drawing 10. Drawing 10 shows that 80-120Oe and coercive force are high irrespective of a cooling rate, when whenever [stoving temperature] is under eutectic temperature.

[0029] Moreover, the polycrystal super-magnetostriction alloy ingot which has a desired presentation may be produced as another heat treatment, and the approach of setting the relative passing speed of an alloy ingot and a heating furnace as 5 - 400 mm/h, making it displaced relatively all over the furnace which has a temperature gradient 20 degrees C [/cm] or more in the temperature

requirement of under the melting point, and cooling may be used. The reason for having specified heat treatment conditions is as follows. A reaction with a crucible arises [whenever / stoving temperature] above the melting point. Moreover, a temperature gradient must make relative passing speed of an alloy ingot and a heating furnace the low speed of less than 5 mm/h by cm in less than 20 degrees C /, and a problem arises for productivity. Relative passing speed of an alloy ingot and a heating furnace cannot control crystal orientation by less than 5 mm/h, if a problem arises for productivity and exceeds 400 mm/h on the other hand for it. By this approach, one end or the both ends of an alloy ingot may be fixed and held in a heating furnace, without using a crucible, a cheap crucible ingredient can be chosen or a crucible can also be reused.

[0030] In addition, what performed plastic deformation processing of extrusion, drawing processing, rolling, etc. in the temperature requirement of 500 degrees C or more and under the melting point may be used as an alloy ingot. Moreover, an alloy ingot may be put into a metallic pipe and what carried out plastic deformation processing of both at coincidence may be used. In this case, as a metallic pipe for covering, the metal or alloys (for example, stainless steel etc.) which have the melting point more than working temperature are used. Deformability sufficient at less than 500 degrees C is not obtained, but it becomes impossible to maintain the configuration of an alloy about the temperature of plastic deformation processing above the melting point. A more desirable temperature requirement is 800-1200 degrees C. Thus, since crystal grain will make it detailed if plastic deformation processing is performed, and crystal grain will make it big and rough if it heat-treats succeedingly, control of crystal orientation becomes easy. Moreover, it also becomes possible by performing plastic deformation processing two or more times to produce the rod of the shape of a thin wire from the ingot of a big configuration. In addition, it is desirable to perform plastic deformation processing and heat treatment in a vacuum or inert gas ambient atmospheres, such as an argon and helium.

[0031] Hereafter, the example of this heat treatment approach is explained.

Example 1: after blending each element and carrying out the high frequency induction dissolution in an argon ambient atmosphere using an alumina crucible so that it may be set to Tb0.4 Dy0.6 1.93 (Fe0.95Mn0.05) by the atomic ratio, the alloy rod with an outer diameter [of 15mm] and a die length of 200mm was obtained by casting to a quartz crucible. The obtained alloy rod was held in the alumina crucible, and the inside of the heating furnace which carried out the temperature gradient of the range of 1130 to 980 degrees C in 50 degrees C/cm was dropped at the rate of 70 mm/h. The alloy rod after heat treatment was processed into the 7mm cube, and the magnetostriction property of rod shaft orientations and its rectangular direction was evaluated using the strain gage under the room temperature. It was made to generate with a counter electrode mold magnet, and the field measured the magnetostriction (λ_{2kOe}) in 2kOe field. Consequently, in rod shaft orientations, in 950 ppm and the rectangular direction of those, it is a low value of 380 ppm, and the anisotropy of magnetostriction was able to obtain the large alloy rod.

[0032] Example 2: after blending each element and carrying out the high frequency induction dissolution in an argon ambient atmosphere using an alumina crucible so that it may be set to Tb0.5 Dy0.5 1.95 (Fe0.9 Mn0.1) by the atomic ratio, it cast in alumina mold with a bore of 30mm heated at 1100 degrees C at the carbon heater, and the alloy ingot was obtained by carrying out furnace cooling to a cooling plate further using a water-cooled copper plate. It is the obtained super-magnetostriction ingot the working temperature of 1080 degrees C, and the pressure of 4t/cm² Hot extrusion processing was carried out and the super-magnetostriction alloy rod with a diameter of 10mm was obtained. The lower limit of the obtained alloy rod was held and the inside of the heating furnace which carried out the temperature gradient of the range of 1150 to 1000 degrees C in 70 degrees C/cm was dropped at the rate of 100 mm/h. The alloy rod after heat treatment was processed into the 6mm cube, it extruded using the strain gage under the room temperature, and the magnetostriction property of shaft orientations and its rectangular direction was evaluated. It was made to generate with a counter electrode mold magnet, and the field measured the magnetostriction (λ_{2kOe}) in 2kOe field. Consequently, in extrusion shaft orientations, in 1050 ppm and the rectangular direction of those, it is a low value of 350 ppm, and the anisotropy of magnetostriction was able to obtain the large alloy rod.

[0033] Even if it uses a comparatively large-sized alloy ingot, since this is not fused, a reaction with

a crucible can be avoided, and, moreover, crystal orientation can be controlled by the above heat treatment approaches. In addition, the foil body of the super-magnetostriction ingredient obtained by the super-quenching technique may be used. In this case, the presentation which contains B, P, C, Si, etc. as an amorphous-sized element is desirable.

[0034] The super-magnetostriction ingredient obtained by the above approaches is applicable to various magnetic-machine displacement conversion devices besides an angular-velocity sensor. For example, the application which passes through a pressure sensor, a knock sensor, a sound pressure sensor, etc. as application and a magnetostriction sensor to a precision positioning device, a bulb control valve, a machine switch, a micropump, a printer head, etc., the application which it is in a surface-acoustic-waves application component further can be considered as a magnetostrictive vibrator as the application to the vibration removal, the vibrationproofing device, etc. of a loudspeaker, sonar, a parts feeder, a supersonic machine, and a motor, and a displacement control actuator.

[0035]

[Example] Hereafter, the example of this invention is explained.

The block diagram of the circuit of this angular-velocity sensor is shown in example 1 drawing 1 at the perspective view of the angular-velocity sensor in this example, and drawing 2.

[0036] The character type oscillating object 11 of KO which constitutes an angular-velocity sensor in drawing 1 is Tb0.3 Dy0.7 Fe1.9. It consists of a super-magnetostriction ingredient of a presentation, and fabricates by diamond processing from the cylindrical alloy of the <112> orientation which manufactured with the Bridgman method. Around the connection section which connects the two legs of the character type oscillating object 11 of KO, sensing coils 13a and 13b are wound around the perimeter of the two legs for the drive coil 12 by non-contact, respectively.

[0037] As shown in drawing 2, a drive coil 12 is connected to an oscillator circuit 14, and the oscillator circuit 14 is connected to the synchronous-detection circuit 17. Sensing coils 13a and 13b are connected to Amplifier 15a and 15b, respectively. These amplifier 15a and 15b is connected to the differential amplifier 16, and the differential amplifier 16 is further connected to the synchronous-detection circuit 17.

[0038] Actuation of this angular-velocity sensor is explained. The alternating voltage of about 10v is impressed to a drive coil 12 by the oscillator circuit 14, the excitation community generated from a drive coil 12 is given to the oscillating object 11, and crookedness vibration of this is carried out. Moreover, the reference sign used as the criteria of a phase is directly supplied to the synchronous-detection circuit 17 from an oscillator 14. Thus, since the oscillating object 11 is vibrating, in the leg of the oscillating object 11, magnetization arises according to a reverse magnetostrictive effect. The signal according to this magnetization amplifies, and is detected by the amplifier 15a and 15b connected to sensing coils 13a and 13b, the difference of both signal is amplified with the differential amplifier 16, and this signal is further detected synchronously in the synchronous-detection circuit 17.

[0039] When the angular rate of rotation has not joined the oscillating object 11 so that the above-mentioned explanation may show, the signal from both sensing coils 13a and 13b is offset, and an output is not produced. If the angular rate of rotation of the circumference of a vertical axis as shown in the oscillating object 11 which is carrying out crookedness vibration for example, by the drawing Nakaya mark on the other hand is added, Coriolis force will arise in the direction which intersects perpendicularly in the oscillating direction of the leg of the oscillating object 11. Consequently, the oscillating direction of the leg shifts from fundamental vibration, the stress which originates in this gap and is committed to the leg changes, and the magnetization further produced according to a reverse magnetostrictive effect changes. Therefore, the impedance change in sensing coils 13a and 13b is obtained as an output corresponding to the angular rate of rotation.

[0040] In addition, although the solenoid coil used as a drive coil in drawing 1 instead, the same effectiveness is acquired even if it uses the circumference field generated according to the line current 18, as shown in drawing 3. However, with this configuration, an about 10 times as many current as this is needed as compared with the case where a solenoid coil is used.

[0041] The decomposition perspective view of the angular-velocity sensor in this example is shown in example 2 drawing 4. In the angular-velocity sensor of drawing 4, the character type oscillating

objects 11 and 21 of the 1st and 2nd KO are carried in piles one by one on the tabular samarium cobalt magnet 22. the character type oscillating objects 11 and 21 of these KO -- Tb_{0.4}Dy_{0.6}1.95 (Fe_{0.9}Mn_{0.1}) -- it consists of a super-magnetostriction ingredient of a presentation, and fabricates by diamond processing from the cylindrical alloy of the <110> orientation which manufactured with the Bridgman method. Drive coils 12a and 12b are wound around the perimeter of the two legs of the character type oscillating object 11 of the 1st KO by non-contact, and sensing coils 13a and 13b are wound around the perimeter of the two legs of the character type oscillating object 21 of the 2nd KO by non-contact. The tabular samarium cobalt magnet 22 is formed in order to add magnetic bias to an oscillating object. Magnetic bias is beforehand set as the optimum value so that an oscillating object may operate in the field of the rate max of magnetostriction.

[0042] By this angular-velocity sensor, crookedness vibration of the character type oscillating object 11 of the 1st KO is carried out by drive coils 12a and 12b, this vibration is told to the character type oscillating object 21 of the 2nd KO, crookedness vibration of this is carried out, and when the angular rate of rotation is added, oscillating change produced on the character type oscillating object 21 of the 2nd KO is obtained as an output corresponding to the angular rate of rotation by the same detector as sensing coils 13a and 13b and an example 1. Moreover, since the bias field is added to the oscillating object with the samarium cobalt magnet 22, the relation between magnetostriction and a field (current) is linear, and it can be made to operate in the field which shows the rate of the maximum magnetostriction, and the linearity and sensor sensibility of a sensor property improve.

[0043] The block diagram of the circuit of this angular-velocity sensor is shown in example 3 drawing 5 at the perspective view Fig. of the angular-velocity sensor in this example, and drawing 6 . the cross oscillating object 31 which constitutes an angular-velocity sensor in drawing 5 -- Tb_{0.35}Dy_{0.65} (Fe_{0.9}Mn_{0.05}aluminum_{0.05}) 1.93 -- it consists of a super-magnetostriction ingredient of a presentation, and after slicing the cylindrical alloy of the <112> orientation which manufactured with the Bridgman method in 0.1mm thickness by diamond processing, it fabricates in a cross-joint mold. Around one shaft of the cross oscillating object 31, sensing coils 33a and 33b are wound around the perimeter of the shaft of another side for drive coils 32a and 32b by non-contact, respectively.

[0044] As shown in drawing 6 , drive coils 32a and 32b are connected to an oscillator circuit 34, and the oscillator circuit 34 is connected to the synchronous-detection circuit 37. Sensing coils 33a and 33b are connected to Amplifier 35a and 35b, respectively. These amplifier 35a and 35b is connected to the differential amplifier 36, and the differential amplifier 36 is further connected to the synchronous-detection circuit 37.

[0045] this angular-velocity sensor -- an oscillator circuit 34 -- drive coils 32a and 32b -- about 10 -- about V alternating voltage is impressed, the excitation community generated from drive coils 32a and 32b is given to the oscillating object 31, and crookedness vibration of this is carried out. Moreover, the reference sign used as the criteria of a phase is directly supplied to the synchronous-detection circuit 37 from an oscillator 34. If the angular rate of rotation joins now the oscillating object 31 which is carrying out crookedness vibration, Coriolis force will arise in the direction which intersects perpendicularly in the oscillating direction of the oscillating object 31. Consequently, the oscillating direction of the oscillating object 31 shifts from fundamental vibration, the stress which originates in this gap and is committed on the oscillating object 31 changes, and the magnetization further produced according to a reverse magnetostrictive effect changes. Therefore, the impedance change in sensing coils 33a and 33b is obtained as an output corresponding to the angular rate of rotation.

[0046] In addition, although the solenoid coil used as a drive coil in drawing 5 instead, the same effectiveness is acquired even if it uses the circumference field generated according to the line current 38, as shown in drawing 7 . However, with this configuration, an about 10 times as many current as this is needed as compared with the case where a solenoid coil is used.

[0047] The decomposition perspective view of the angular-velocity sensor in this example is shown in example 4 drawing 8 . In the angular-velocity sensor of drawing 8 , the thing which unified the cross oscillating object 41 and the frame 42 holding this, and the polyimide film 44 with which the flat-surface mold drive coils 52a and 52b and the flat-surface mold sensing coils 53a and 53b were formed corresponding to the cross oscillating object 41 are carried in piles one by one on two tabular

samarium cobalt magnets 43 and 43. the cross oscillating object 41 and a frame 42 -- Tb_{0.5} Dy_{0.5} 1.95 (Fe_{0.9} Mn_{0.1}) -- it consists of a super-magnetostriction ingredient of a presentation, and after slicing the cylindrical alloy of the <110> orientation which manufactured with the Bridgman method in 0.1mm thickness by diamond processing, it fabricates by laser processing. Any of the shape of the shape of a spiral and a rectangle and MIANDA are sufficient as the configuration of the flat-surface mold drive coils 52a and 52b and the flat-surface mold sensing coils 53a and 53b, and it is produced by the semi-conductor process.

[0048] By this angular-velocity sensor, the shaft of the direction of X of the cross oscillating object 42 is vibrated by the flat-surface mold drive coils 52a and 52b, and oscillating change of the shaft of the direction of Y is obtained as an output corresponding to the angular rate of rotation by the same detector as the flat-surface mold sensing coils 53a and 53b and an example 3. Moreover, since the bias field is added to the oscillating object 41 with samarium cobalt magnets 43 and 43, the relation between magnetostriction and a field (current) is linear, and it can be made to operate in the field which shows the rate of the maximum magnetostriction, and the linearity and sensor sensibility of a sensor property improve. Furthermore, by this angular-velocity sensor, by optimizing the mass of intersection 41a of the cross oscillating object 41, vibration is increased or resonance frequency is made to adjustable.

[0049]

[Effect of the Invention] As explained in full detail above, according to this invention, it is small and the practical angular-velocity sensor which can detect angular velocity to a precision can be offered.

[Translation done.]

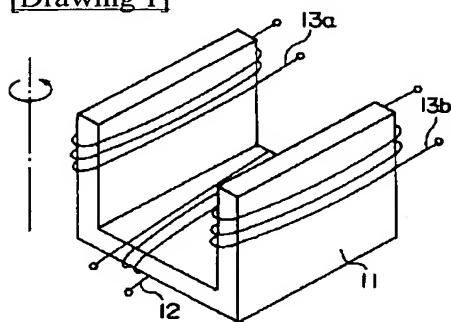
* NOTICES *

JPO and NCIPi are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

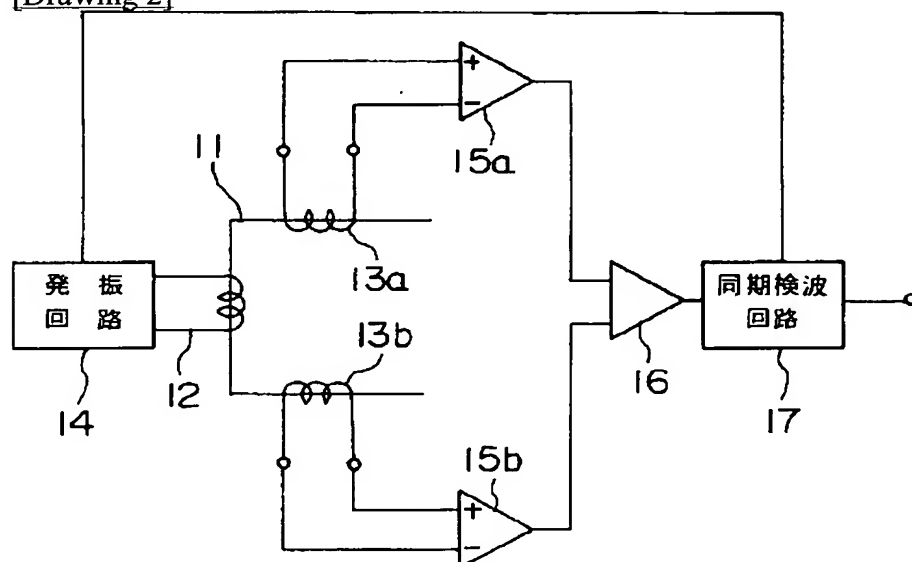
1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. **** shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

DRAWINGS

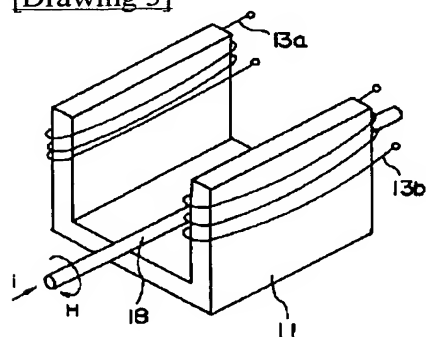
[Drawing 1]



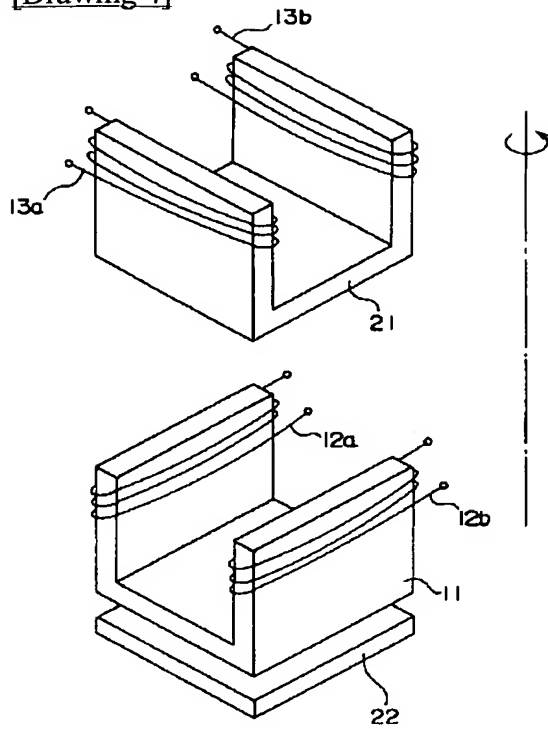
[Drawing 2]



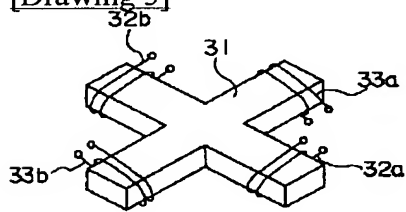
[Drawing 3]



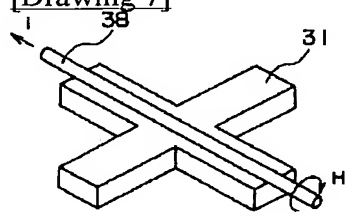
[Drawing 4]



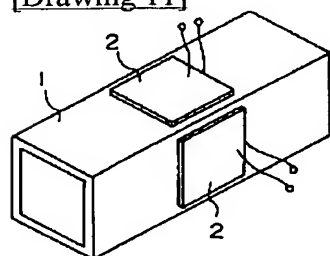
[Drawing 5]



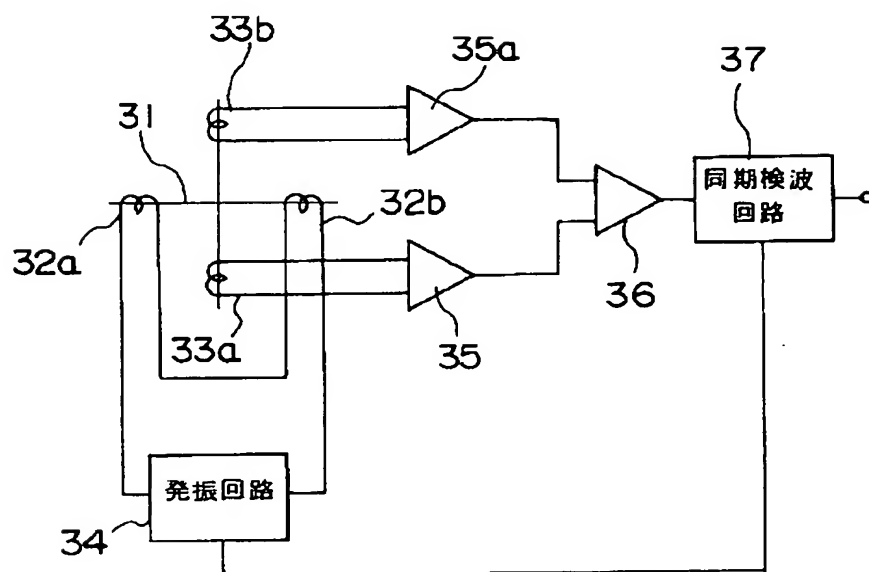
[Drawing 7]



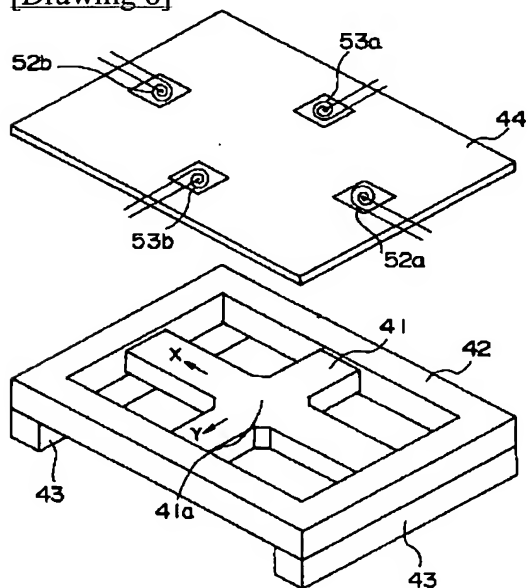
[Drawing 11]



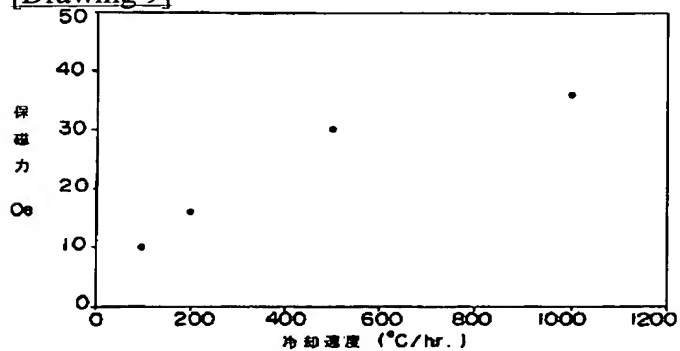
[Drawing 6]



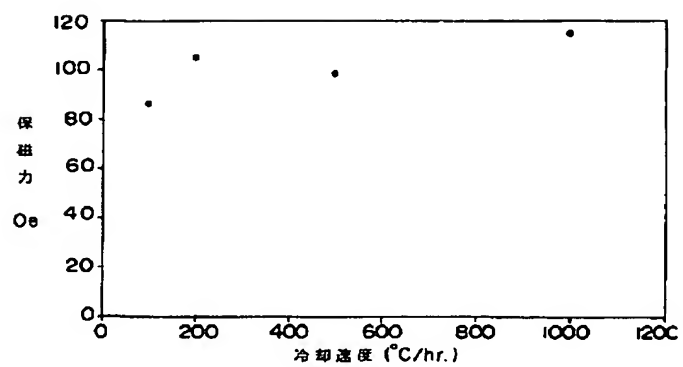
[Drawing 8]



[Drawing 9]



[Drawing 10]



[Translation done.]